

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-153915

(43) 公開日 平成8年(1996)6月11日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup> 識別記号 庁内整理番号 F I 技術表示箇所

H 0 1 L 41/22

27/12

B

H 0 3 H 3/08

7259-5 J

9/17

Z

H 0 1 L 41/22

Z

審査請求 未請求 請求項の数16 O L (全 11 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願平6-296738

(22) 出願日 平成6年(1994)11月30日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 江田 和生

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 冨田 佳宏

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 小塚 哲義

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 小鍛冶 明 (外2名)

最終頁に続く

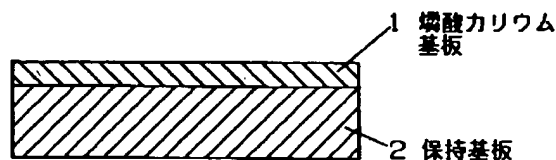
(54) 【発明の名称】 複合圧電基板とその製造方法

(57) 【要約】

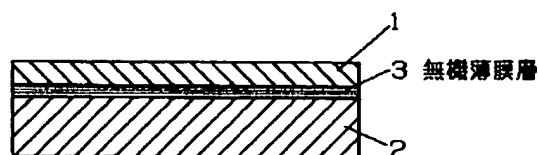
【目的】 燐酸ガリウム基板を圧電基板として用い、各種基板との組合せにより、圧電特性の設計自由度が大きく、また高精度微細加工が可能で、熱的、機械的に安定であり、より厚い基板を、より高温で直接接合可能な複合圧電基板の構造とその製造方法を提供することを目的とする。

【構成】 燐酸ガリウム基板1および保持基板2の接合予定部を極めて清浄にし、さらに親水化処理し、重ね合わせて加熱することにより、前記燐酸ガリウム基板1に前記保持基板2を、界面の水酸基の水素結合または酸素の共有結合により接合するようにしたものである。

(a)



(b)



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 燐酸ガリウム基板と保持基板が、界面の水酸基の水素結合または酸素との共有結合により直接接合されていることを特徴とする複合圧電基板。

【請求項2】 燐酸ガリウム基板および保持基板から成り、前記基板の少なくとも一方の基板表面に、無機薄膜層を有し、前記基板同士が、前記無機薄膜層と他方の基板との界面の水酸基の水素結合または酸素との共有結合により直接接合されていることを特徴とする複合圧電基板。

【請求項3】 直接接合部の厚みが20nm以下であることを特徴とする請求項1または2記載の複合圧電基板。

【請求項4】 保持基板が半導体であることを特徴とする請求項1または2記載の複合圧電基板。

【請求項5】 半導体が珪素であることを特徴とする請求項4記載の複合圧電基板。

【請求項6】 保持基板がガラスであることを特徴とする請求項1または2記載の複合圧電基板。

【請求項7】 保持基板が圧電体であることを特徴とする請求項1または2記載の複合圧電基板。

【請求項8】 保持基板が燐酸ガリウムであることを特徴とする請求項7記載の複合圧電基板。

【請求項9】 無機薄膜層が珪素または珪素化合物であることを特徴とする請求項2記載の複合圧電基板。

【請求項10】 燐酸ガリウム基板に少なくとも一対の櫛形電極を有することにより、前記燐酸ガリウム基板に表面弾性波を励振させるようにしたことを特徴とする請求項1または2記載の複合圧電基板。

【請求項11】 燐酸ガリウム基板の両面に少なくとも一対の対向電極を有することにより、前記燐酸ガリウム基板にバルク波を励振させるようにしたことを特徴とする請求項1または2記載の複合圧電基板。

【請求項12】 燐酸ガリウム基板と保持基板の直接接合対向面に少なくとも一対の対向電極を有することにより、前記燐酸ガリウム基板と保持基板からなる複合圧電基板にバルク波を励振させるようにしたことを特徴とする請求項1または2記載の複合圧電基板。

【請求項13】 保持基板に半導体を用い、半導体基板に電子素子または電子回路を有することを特徴とする請求項1または2記載の複合圧電基板。

【請求項14】 燐酸ガリウム基板および保持基板の、接合予定部表面を極めて清浄にし、さらに親水化処理し、重ね合わせて加熱することにより、前記燐酸ガリウム基板を前記保持基板に直接接合することを特徴とする複合圧電基板の製造方法。

【請求項15】 燐酸ガリウム基板および保持基板の、少なくとも一方の接合予定部表面に、無機薄膜層を形成し、その表面ならびに他方の基板表面の接合予定部を極めて清浄にし、さらに親水化処理し、重ね合わせて加熱することにより、前記燐酸ガリウム基板を前記保持基板

に、前記無機薄膜層を介して直接接合することを特徴とする複合圧電基板の製造方法。

【請求項16】 無機薄膜層が、珪素または珪素化合物であることを特徴とする請求項15記載の複合圧電基板の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、燐酸ガリウムを用いた複合圧電基板に関する。

10 【0002】

【従来の技術】 水晶、タンタル酸リチウム、ニオブ酸リチウム、ほう酸リチウムなどを用いた圧電振動子、表面弾性波素子などの圧電デバイスは、各種発振器の発振子やフィルタとして、無線通信機器に広く利用されている。これらの素子は機械的に振動するため、その固定をどう行うかがその性能と密接に関連している。バネやねじで機械的に固定する方法は、簡便であるが、熱的变化や機械的振動に対して長期間安定なものを得ることが困難である。各種有機系接着剤を用いて固定する方法も知られているが、これらの接着剤は、やはり耐熱性が十分でなく半田リフローなどを行うと、振動の周波数が変化することがあり、使用上も生産上でも好ましくない。

20

【0003】 また、これらの圧電デバイスを移動体通信機器に使用するためには、小型で特性の良い圧電デバイスが必要である。圧電デバイスの特性として重要なのは、フィルタの場合は挿入損失とその温度依存性であり、共振子の場合は共振のQ（損失の逆数に対応）と共振および反共振の比（容量比）およびその温度依存性である。容量比は共振器型フィルタなどに用いる場合に、通過帯域に直接関係する。挿入損失、共振のQ、容量比は、用いる圧電体の電気機械結合係数に依存し、温度依存性は用いる圧電体の音速の温度依存性が関与する。また音速は共振周波数に関与する。

30

【0004】 電気機械結合係数、温度依存性は、用いる材料によって大きく変わる。ニオブ酸リチウムの場合、電気機械結合係数は大きい、温度依存性も大きく、50-70ppm/℃程度ある。タンタル酸リチウムの場合、電気機械結合係数は、ニオブ酸リチウムよりも小さいが、温度依存性は30-50ppm/℃程度であり、ニオブ酸リチウムよりも良い。水晶は電気機械結合係数は非常に小さいが、温度依存性は、ほぼ0に近いカット角が存在する。ほう酸リチウムは温度依存性は良好なカット角が存在するがやはり電気機械結合係数が小さい。また水溶性のため製造上難点がある。また音速もそれぞれ材料固有のものである。

40

【0005】 電気機械結合係数の面からいうと、ニオブ酸リチウムが一般的に望ましい。しかしながら温度依存性の点でいうと水晶が最も望ましい。設計の自由度の観点から言うと、電気機械結合係数は大きく、また温度依存性が小さいものがあれば好ましい。しかしながら、こ

50

れら従来の材料では不十分である。

【0006】また、電気音響素子を用いた電子回路、例えば圧電共振子を用いた発振器などの発振回路や、圧電フィルタを共に用いた増幅回路では、発振を起こしたり増幅するための電子素子であるトランジスタ、および希望の周波数で発振させるための共振子や、希望の周波数のみを取り出すためのフィルタと、若干のコンデンサや抵抗などの電気部品より構成される。ここに用いられる共振子やフィルタは、その振動周波数あるいは選択周波数として所定の値を持ち、その性能が十分長期間安定であるように、金属管などの容器に気密封止されている。そのため共振子やフィルタの形状寸法が共振子やフィルタそのものの大きさの数倍にもなってしまう、携帯電話など小型であることが極めて重要な装置においては、その小型化が極めて重要な課題となっている。

【0007】一方、Siなどの半導体基板上にスパッタリングなどの薄膜技術により、ZnOやAlNなどの圧電体薄膜を形成し、この圧電薄膜で共振子などを形成して、Si電子素子と電気音響素子を一体に集積化する例が知られている。

【0008】これらの問題点を解決する一つの方法として、特開平4-283957号公報、特開平4-164452号公報、特開平6-120416号公報、特開平6-125036号公報などに、圧電デバイスである水晶、ほう酸リチウム、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムを保持用基板であるシリコンあるいは各種保持基板に直接接合する方法が知られている。これらの構造は、熱的および機械的変化に対して極めて安定であり、半導体基板やその他の基板に一体に形成できるといった優れた特徴を有している。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】圧電基板を他の基板に積層するのに、各種接着剤を用いて固定する方法があるが、従来の接着剤を用いた接着方法では、接着界面の厚み精度が十分でないとか、耐熱性、信頼性が十分でないなどの課題がある。

【0010】また薄膜形成技術により、半導体基板などの基板上に形成する方法では、形成できる膜がZnOやAlNなどの一部の材料に限られており、またその特性はバルクの特性よりも劣るものであり、また水晶のように優れた温度依存性を示すものは得られていない。

【0011】各種エピタキシャル成長法による複合圧電基板を形成する方法では、基板の格子定数に合った膜しか形成できないため、材料の組合せが限られている。また形成できる膜の結晶方位についても、基板の結晶方位に依存するため、好ましい結晶方位の膜を得ようとしても制約があり自由に形成することはできない。また液相エピタキシャル成長、化学気相エピタキシャル成長、分子線エピタキシャル成長など各種のエピタキシャル成長技術があるが、いずれを用いてもバルク単結晶の特性よ

りも優れたものは得にくい。

【0012】また水晶とシリコン、あるいはニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウムと各種保持基板を直接接合する方法では、いずれの圧電基板も、直接接合可能な温度および基板厚みに制約があり、基板厚みの厚いものを直接接合しようとする、熱処理を高温でできないため、接合強度が弱い、あるいは製造の歩留まりが悪いなどの難点がある。とくに温度特性に優れた水晶は573℃で結晶相の相転移を起こすため、高温での熱処理ができないことから、接合強度の十分強いものが製造しにくいこと、また直接接合できる形状、寸法に大きな制約があるなどの課題があった。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、燐酸ガリウム基板と保持基板が、界面の水酸基の水素結合または酸素との共有結合により直接接合されているようにしたものである。

【0014】また燐酸ガリウム基板および保持基板から成り、前記基板の少なくとも一方の基板表面に、無機薄膜層を有し、前記基板同士が、前記無機薄膜層と他方の基板との界面の水酸基の水素結合または酸素との共有結合により直接接合されているようにしたものである。

【0015】また直接接合部の厚みが20nm以下であるようにしたものである。保持基板には、半導体を用いることができ、またその半導体として珪素を用いることができる。

【0016】また保持基板には、ガラスまたは圧電体を用いることもできる。また保持基板には、燐酸ガリウムを用いることもできる。

【0017】無機薄膜層には、珪素または珪素化合物を用いることができる。また燐酸ガリウム基板に少なくとも一対の櫛形電極を有することにより、前記燐酸ガリウム基板に表面弾性波を励振させるようにしたものであってもよい。

【0018】また燐酸ガリウム基板の両面に少なくとも一対の対向電極を有することにより、前記燐酸ガリウム基板にバルク波を励振させるようにしたものであってもよい。

【0019】また燐酸ガリウム基板と保持基板の直接接合対向面に少なくとも一対の対向電極を有することにより、前記燐酸ガリウム基板と保持基板からなる複合圧電基板にバルク波を励振させるようにしたものであってもよい。

【0020】また保持基板に半導体を用い、半導体基板に電子素子または電子回路を有するようにしたものであってもよい。

【0021】また燐酸ガリウム基板および保持基板の、接合予定部表面を極めて清浄にし、さらに親水化処理し、重ね合わせて加熱することにより、前記燐酸ガリウム基板を前記保持基板に直接接合するようにしたもので

ある。

【0022】また磷酸ガリウム基板および保持基板の、少なくとも一方の接合予定部表面に、無機薄膜層を形成し、その表面ならびに他方の基板表面の接合予定部を極めて清浄にし、さらに親水化処理し、重ね合わせて加熱することにより、前記磷酸ガリウム基板を前記保持基板に、前記無機薄膜層を介して直接接合するようにしたものである。

【0023】

【作用】上記のような製造方法とそれにより得られる構造とすることにより、熱的、機械的に安定で、高精度な微細加工が可能であり、圧電デバイスとして応用する場合の材料組合せと圧電特性の選択の自由度が大幅に増すとともに、従来の圧電材料では困難であった、より高温、より厚い圧電基板を用いた直接接合による複合圧電基板が可能となり、複合圧電基板として、より熱的、機械的に安定で、製造歩留まりの良いものが得られる。

【0024】

【実施例】以下本発明の実施例の複合圧電基板について、図面を参照しながら説明する。

【0025】(実施例1) 本発明の複合圧電基板の構造の第1の実施例の断面構造を図1(a)に示す。図1(a)において、1は圧電基板である磷酸ガリウム基板、2は保持基板で、この両者の基板は、界面の水酸基による水素結合または酸素による共有結合により直接接合されている。保持基板としては、Siなどの4族半導体、GaAsやInPなどの化合物半導体、珪酸を含有する各種ガラス基板、水晶などの単結晶圧電基板、サファイアなどの単結晶絶縁基板などが適し、また保持基板にも磷酸ガリウムを用いることができる。単結晶磷酸ガリウムは、水晶と同じ結晶対称性を有し、水晶と同様温度依存性がほぼ0になる結晶方位が存在する。またその電気機械結合係数などの特性は水晶よりも良好な値が得られる。またその結晶相転移温度は、933℃であり、水晶の573℃よりもはるかに高い。

【0026】このような構成の他の実施例を、図1(b)に示す。図1(b)において、1、2は図1(a)と同じである。3は、磷酸ガリウム基板1と保持基板2の間に形成された無機薄膜層で、たとえば酸化珪素や窒化珪素などの珪素化合物ないしは珪素層である。無機薄膜層3は、磷酸ガリウム基板1または保持基板2に、真空蒸着、スパッタリング、化学気相成長法(CVD)などにより形成、付着されている。磷酸ガリウム基板1と保持基板2とは、無機薄膜層3と保持基板2との界面または磷酸ガリウムとの界面で、図1(a)の場合と同様、直接接合により接合されている。

【0027】無機薄膜層を界面に介在させることにより、この内部に電極を埋め込むことができるなど応用範囲が広がるものである。具体的には、基板の一方の表面に電極配線を形成し、その上からスパッタリングなどの

薄膜形成技術で、酸化珪素や窒化珪素などの高抵抗無機薄膜層を、電極配線厚みよりも十分厚く堆積し、研磨などによって電極配線部の段差を平坦化したのち直接接合することができる。

【0028】また無機薄膜層が珪素を含有する場合、直接接合において、酸素が関与した共有結合を形成しやすく、接合強度が上がる、より低い熱処理温度で直接接合が可能であるなどの効果がある。

【0029】ここで本発明で述べる直接接合について説明する。基板表面を極めて清浄にし、表面を親水化処理して純水に浸すと、基板表面には多数の水酸基が吸着される。この様子を図2(a)に示す。図では非常に代表的な場合を模式的に表わしたものである。水酸基は酸素と水素からなる。この状態で基板同士を重ね合わせると、水酸基を介して、主として水素結合により、基板同士の初期の接合が行われる。この様子を図2(b)に示す。これも代表例を模式的に表わしたものである。

【0030】この状態で加熱していくと、次第に接合界面から水分子の離脱または水素の離脱がおり、接合は強化される。この接合強化は水酸基による水素結合から酸素を中心とする共有結合の割合が増すことにより行われる。この状態は熱処理温度として、200-500℃に多く見られる。

【0031】さらに温度を上げていくと、水素がさらに離脱し、酸素を介しての結合が主となる。この様子を図2(c)に示す。この結合は共有結合的なものとなり接合強度はさらに強化される。界面に珪素がある場合は、珪素も共有結合強化を促進する。

【0032】図2は、いずれの図においても代表的な場合を模式的に表わしたものであり、詳細は、基板の構成元素や表面状態の影響を受ける。

【0033】接合強度は200℃、1時間程度の熱処理でも、容易に数10Kg/cm<sup>2</sup>の接合強度の値が得られ、十分実用に耐えるものである。

【0034】接合界面は、TEM(透過電子顕微鏡)観察によれば、原子オーダーで接合されており、その直接接合部の厚みは、通常10nm以下で、20nm以下に抑えることは容易である。

【0035】有機物他の接着剤を用いて接着した場合と、本実施例で説明した直接接合の違いと効果について述べる。まず接着剤を用いて接着した場合は、必ず接着界面に接着剤の層が残る。これは通常数μmから数10μmになる。本実施例では水酸基数分子層の厚みで接合が可能となっている。そのため接合後の基板の上下面の平行度は極めて良好なものとなる。接着剤を用いた場合は、接着剤の厚みを原子オーダーで制御することは実質的に不可能である。

【0036】このことから本実施例で述べた複合圧電基板の場合、複合圧電基板表面の微細加工が可能になる。例えば表面弾性波デバイスを作る場合、磷酸ガリウム基

板表面に微細な櫛形電極を形成する必要がある。櫛形電極の幅はサブミクロンの精度が要求される。櫛形電極の形成は電極を真空蒸着などにより形成し、ホトリソグラフィを用いてマスクを形成し、エッチング加工により形成するのが通常の方法である。サブミクロンのホトリソグラフィを行う場合、基板の上下面の平行度が十分でないと露光の精度が十分とれず、良好な加工が得られない。

【0037】また湿式エッチングやドライエッチングなどの微細加工においては、エッチング剤としての酸や各種ガスにさらされたり、高温にさらされる場合があり、各種接着剤を用いた場合には、その化学的および熱的安定性が重要な問題であるが、本実施例の場合には、そういった問題がなく、高精度微細加工が可能となる。

【0038】接着剤、とくに有機系のものは、高温まで安定な状態で保つことが困難である。製造の途中で行われる半田付け、半田リフロー（230℃程度）などの加熱工程で特性が変化したり、またガスが発生して、基板表面の特性を利用する表面弾性波デバイスなどには悪影響を与える。本実施例では接合のための熱処理温以下ではきわめて強固で安定である。また界面には酸素、水素しかないため、デバイス化した時に悪影響を与えるようなガスの発生がない。

【0039】また本実施例の直接接合では、エピタキシャル成長のように保持基板と燐酸ガリウム基板の組合せが限られないので、異なる元素、結晶構造、結晶方位、格子定数からなる材料の組合せが可能となるので、材料組合せの自由度がきわめて大きくなる。

【0040】接合界面が原子レベルで接合されていること、および水素、酸素、基板構成元素以外の特別な元素を介在させないことから、以下このような方法で行われた接合を、直接接合と呼ぶことにする。

【0041】このような直接接合の例として、水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウムなどと、半導体基板やガラス基板などの基板に直接接合する方法が知られている。しかし燐酸ガリウム基板を用いることにより、従来のこれらの基板では直接接合が困難であった条件での直接接合が可能となる。

【0042】図3(a)、(b)は、水晶とSi基板ならびに、熱膨張率が比較的水晶に近い熱膨張率（ $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ）を有する高熱膨張率ガラスとの直接接合可能な条件を、燐酸ガリウム基板の場合と比較したものである。

【0043】直接接合は、保持基板の厚みを一定とした時、圧電基板の厚みが厚いほど、また熱処理温度が高いほど、界面での熱応力が生じ、直接接合が困難となる。図3(a)でわかるように、水晶とSiの直接接合の場合、例えば、水晶の厚みが $50\mu\text{m}$ の場合では、約300℃以下での熱処理しかできない。一方、燐酸ガリウムの場合には、厚み $50\mu\text{m}$ の場合、約550℃まで熱処

理が可能となる。処理できる温度が高いほど、接合強度が強固で安定となることから、信頼性の面で好ましい。また製造上からみた場合、製造において容易にハンドリングできる基板厚みは、直径2インチのウェーハで考えた場合、 $50\mu\text{m}$ 以上であり、そのため接合可能な基板厚みは、少なくとも $50\mu\text{m}$ 以上が好ましい。この点からみても燐酸ガリウムは好ましい。

【0044】またバルク波振動子の場合、圧電基板の厚みは、共振周波数に反比例するので、取り扱える基板厚みの範囲が広いほど、製造可能な周波数範囲が広がる。この観点からも燐酸ガリウムは好ましい。

【0045】これらの観点から見て、燐酸ガリウムは水晶の場合よりも、より高温、およびより厚い基板での直接接合が可能であることから、明らかに好ましいものである。

【0046】図3(b)は保持基板がガラス基板の場合であるが、この場合にも、明らかに、燐酸ガリウム基板の方が、水晶の場合よりも、熱処理可能温度が高く、また基板厚みが厚くてもよい。なおこの場合、600℃以上になるとガラス基板の特性が変化するため測定してないが、軟化温度の高いガラス基板を用いればさらに高温での熱処理は可能である。

【0047】この状況は、その他の圧電基板、例えば、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウムと比較しても同様である。この状況を、図4(a)、(b)に示す。図4(a)は、保持基板がSi基板の場合、図4(b)は、保持基板が高熱膨張率ガラスの場合である。この場合も、やはり、燐酸ガリウムの方が、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウムよりも、より高温で直接接合可能、または同一温度であれば、より厚い基板まで直接接合可能であり、やはり好ましい結果が得られている。

【0048】これらの結果は、水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムなどの熱膨張率が、いずれも大きな値をもち、 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以上であるのに比べて、燐酸ガリウムの熱膨張率は、 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 以下の方位が存在し、とくに最小方位（Z軸方向）では、 $3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とSiとほぼ同等の値が得られること、また結晶相の相変化の温度が933℃であり、水晶の相変化温度573℃やタンタル酸リチウムのキュリー温度607℃に比べてはるかに高いこと、またほう酸リチウムのように水溶性でないことなどによる効果と考えられる。

【0049】図1(b)の構成においても、真空蒸着、スパッタリング、化学気相成長法などにより無機薄膜層を形成することにより、その膜厚を精度よく制御することが可能なので、ホトリソグラフィにおいて、基板上下面の平行度が重要な表面弾性波デバイスについても、適用することができる。

【0050】(実施例2) 実施例1で述べた構造の複合

圧電基板は、種々の用途に用いられる。

【0051】実施例1で述べた構造を用いた応用デバイスの第1の例を図5(a)、(b)に示す。図5は、磷酸ガリウム基板に表面弾性波デバイスを形成したものである。図5において、1、2は実施例1と同様、磷酸ガリウム基板および保持基板、4、4'は磷酸ガリウム基板表面に形成した櫛形電極である。ここでは2組の櫛形電極構成を示したが、これは代表的構成を示したものであり、通常表面弾性波を用いたデバイスに用いられる電極構成は、同様に構成可能である。

【0052】このような構成をとることにより、表面弾性波の特性を種々制御することができる。たとえば保持基板にも圧電基板を用いた場合、磷酸ガリウム基板または保持基板側の圧電基板の厚みを、動作させようとする表面弾性波の1波長程度以下にすると、この層状構造を伝搬する表面弾性波の性質は、磷酸ガリウムと用いた圧電基板との複合化した特性が得られる。例えば、保持基板に水晶を用いた場合、温度依存性が非常に小さく、圧電定数が、磷酸ガリウムと水晶の特性を組み合わせたものが得られる。また保持基板にニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムを用いた場合、磷酸ガリウムの優れた温度依存性とニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムの大きな電気機械結合係数を合わせもつ複合圧電バルク波デバイスが得られる。また非圧電性保持基板であっても、サファイアやSiのような単結晶基板と直接接合することにより、異なる音速の表面弾性波を励振することが可能となる。ガラス基板を保持基板とした場合、とくに音速遅い基板(1500-2500m/秒)を得るのに有利である。

【0053】この場合、直接接合部の厚みがいずれも20nm以下で実現できることから、層状構造の基板間の表面弾性波の伝搬が、ほとんど損失なく行われ、通常の接着剤による接合では実現できない低損失の層状構造における複合表面弾性波の特性が得られる。

【0054】図5(b)は、磷酸ガリウム基板と保持基板の間に、無機薄膜層3を介在させた場合の構成である。この場合にも各種櫛形電極の構成が可能である。さらにこの場合には、無機薄膜層の中に電極を埋め込むことができ、電極構成の自由度がさらに増すものである。

【0055】(実施例3)本実施例の構造を用いた応用デバイスの第2の例を図6(a)、(b)に示す。図6は、磷酸ガリウム基板にバルク波デバイスを形成したものである。図6において、1、2は実施例1と同様、磷酸ガリウム基板および保持基板、5は保持基板の一部をエッチングなどにより除去した空洞部、6、6'は磷酸ガリウム基板に対向して形成した一対のバルク波励振用電極である。ここでは1組の対向電極構成を示したが、これは代表的構成を示したものであり、通常バルク波を用いたデバイスに用いられる電極構成は、同様に構成可能である。

【0056】このような構成をとることにより、バルク波デバイスの特性を熱的、機械的に安定に保ちながら保持することが可能となる。例えば、保持基板に、Siなどの単結晶半導体を用いた場合、単結晶の異方性エッチングを利用して、空洞部の微細加工を高精度に加工することができる。また保持基板にガラスを用いた場合、やはり加工性が容易であり、空洞部の形成に好ましい。また同一材料すなわち磷酸ガリウム基板を保持基板に用いた場合、接合界面に熱応力が全く加わらないため、バルク波特性の温度安定性が向上する。

【0057】また本実施例においては、直接接合部の厚みが20nm以下であることから、直接接合後の磷酸ガリウム基板を、研磨などの機械的加工により、高精度で薄板化することが可能となる。バルク波デバイスの共振周波数は、一般に圧電基板の厚みに反比例するため、高周波化するためには、薄板化加工が必要である。500MHz以上で動作させる場合3-5μm以下に薄板化することが必要である。通常の接着剤を用いて保持基板に接合した場合、接着剤の厚みがμmオーダーであることから、通常の接着剤を用いて、3-5μm以下の薄板に高精度(面内が均一)で加工することはできない。この場合の精度は、大体3-5μm+1μm程度である。しかし本実施例の直接接合を用いた場合、3-5μm+20nm程度の精度で薄板化が可能である。

【0058】図6(b)は、磷酸ガリウム基板と保持基板の間に、無機薄膜層3を介在させた場合の構成である。この場合にも各種電極の構成が可能である。さらにこの場合には、無機薄膜層の中に電極を埋め込むことができ、さらに電極構成の自由度が増すものである。

【0059】(実施例4)本実施例の構造を用いた応用デバイスの第3の例を図7(a)、(b)に示す。図7は、磷酸ガリウム基板と直接接合した保持基板にバルク波デバイスを形成したものである。図7において、1、2は実施例1と同様、磷酸ガリウム基板および保持基板、6、6'は磷酸ガリウム基板と保持基板の直接接合界面に対向する面に、対向して形成した一対のバルク波励振用電極である。ここでは1組の対向電極構成を示したが、これは代表的構成を示したものであり、通常バルク波を用いたデバイスに用いられる電極構成は、同様に構成可能である。

【0060】このような構成をとることにより、バルク波の特性を種々制御することができる。たとえば保持基板にも圧電基板を用いた場合、全体のバルク波の性質は、磷酸ガリウムと用いた圧電基板との複合化した特性が得られる。例えば、保持基板に水晶を用いた場合、温度依存性が非常に小さく、圧電定数が、磷酸ガリウムと水晶の特性を組み合わせたものが得られる。また保持基板にニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムを用いた場合、磷酸ガリウムの優れた温度依存性とニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムの大きな電気機械結合係数を合

わせもつ複合圧電バルク波デバイスが得られる。また非圧電性保持基板であっても、サファイアやSiのような単結晶で結晶性の良いものと直接接合することにより、共振のQを高めることが可能となる。

【0061】この場合、直接接合部の厚みが20nm以下であることから、積層構造の基板間のバルク波の伝搬が、ほとんど損失なく行われ、通常の接着剤による接合では実現できない低損失の積層構造における複合バルク波の特性が得られる。

【0062】図7(b)は、燐酸ガリウム基板と保持基板の間に、無機薄膜層3を介在させた場合の構成である。この場合にも各種電極の構成が可能である。さらにこの場合には、無機薄膜層の中に電極を埋め込むことができ、さらに電極構成の自由度が増すものである。

【0063】(実施例5)本実施例の構造を用いた応用デバイスの第4の例を図8(a)、(b)に、第5の例を図9(a)、(b)に示す。図8(a)、(b)は、燐酸ガリウム基板を、トランジスタなどの電子素子またはそれらからなる電子回路を有する半導体基板に直接接合し、燐酸ガリウム基板に圧電デバイスを形成し、電子素子あるいは電子回路と接続したものである。図8において、1、2は実施例1と同様、燐酸ガリウム基板および保持基板で、この場合、保持基板はSiなどの半導体基板、4は、表面弾性波を励振する場合の櫛形電極(図では櫛形電極形状は省略して表示している)、6'はバルク波を励振する場合の、対向電極(この場合、上下両面に対向して設けられているが、図では上面の電極のみを表示している)、5はバルク波を励振する場合の空洞部、7は半導体保持基板2の上に形成されたトランジスタなどの電子素子ないしはそれらからなる電子回路部、8、8'は、圧電デバイスの電極と、電子素子または電子回路を接続する配線部である。電子素子としては、トランジスタ、抵抗、コンデンサ、インダクタなどであり、電子回路の場合、表面弾性波ないしはバルク波を用いた発振回路、フィルタを有する増幅回路、各種センサ回路などが構成可能である。

【0064】ここでは代表的構成を示したものであり、圧電デバイスと電子回路からなる構成であれば、種々のものが構成可能である。

【0065】このような構成をとることにより、圧電デバイスと半導体デバイスを一体に集積化でき、大幅な小型化が可能となる。また燐酸ガリウム基板と半導体保持基板との接合を直接接合で行っていることから、熱的、機械的に極めて信頼性の高いものが得られる。またこのままパッケージに気密封止した場合、接合部からのガスの発生などがないことから安定であり、また半田リフローなどの製造上の一次的加熱に対しても、直接接合熱処理温度を、半田リフロー温度よりも高温で行っておけば極めて安定な特性が得られる。

【0066】図9(a)、(b)は、燐酸ガリウム基板

と保持基板の間に、無機薄膜層3を介在させた場合の構成である。この場合にも各種電極の構成が可能である。さらにこの場合には、無機薄膜層の中に電極を埋め込むことができ、さらに電極構成の自由度が増すものである。

【0067】(実施例6)実施例1、図1(a)に示す構造の複合圧電基板の製造方法の例を説明する。

【0068】保持基板及び燐酸ガリウム基板表面を研磨により平坦化し、さらに表面が鏡面状態になるまで研磨する。次に接合予定部表面を、洗剤、各種溶剤により極めて清浄にする。その後、それぞれの表面を紫外線照射により、親水化処理する。その後その表面を純水で十分洗浄し、一様に重ね合わせるにより、容易に接合が得られる。この状態で熱処理を行うことにより接合強度が強化される。100℃から900℃の温度で熱処理を行うと、その接合は更に強化される。

【0069】接合強化の熱処理効果は、例えば、200℃で、1時間程度保持するだけでも接合強度は数倍に上がり、数10Kg/平方cmの強度が得られる。

【0070】また熱処理温度は、保持基板と燐酸ガリウム基板が変質する温度以下であることが必要である。

【0071】このような方法で、燐酸ガリウムと直接接合可能なものは、半導体としては、Si、GaAs、InP、圧電体としては、燐酸ガリウム、水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、ジルコンチタン酸鉛を主成分とする圧電体、絶縁体としては、ほう珪酸ガラスや石英ガラスなどのガラス、サファイアなどである。

【0072】燐酸ガリウム基板と保持基板と同一の材料もしくはほぼ同じ熱膨張率を有する基板同士を用いた場合は、より高温での熱処理が可能であり、接合強度のより強固なものが得られる。保持基板にガラスを用いた場合、熱膨張率を広範囲に変えることが可能なため、用いる燐酸ガリウム基板に合わせた熱膨張率のガラスを保持基板として用いることが可能である。

【0073】直接接合に用いる基板は、基板表面の凹凸が、直接接合の歩留まりに影響を与えるため、平坦で清浄な表面の得やすい単結晶基板が好ましい。

【0074】本製造方法で得られた接合界面は、接着剤を用いずに原子オーダーの接合が得られるため、熱的変化や機械的振動にたいして安定な複合圧電基板が得られる。

【0075】(実施例7)実施例1、図1(b)2に示す構造の複合圧電基板の製造方法の例を説明する。

【0076】保持基板及び燐酸ガリウム基板表面を研磨により平坦化し、さらに表面が鏡面状態になるまで研磨する。次に接合予定部表面を、洗剤、各種溶剤により極めて清浄にする。次に接合する基板の少なくとも一方の面に、無機薄膜層を、スパッタリング、真空蒸着、化学気相成長法などにより形成する。無機薄膜層としては珪

素もしくは珪素化合物が好ましく、珪素は多結晶でも非晶質でもよい。珪素化合物としては、酸化珪素、窒化珪素などが好ましい。形成した無機薄膜層表面をさわめて清浄にした後、それぞれの接合予定部表面を紫外線照射し、親水化処理する。その後、その表面を純水で十分洗浄し、一様に重ね合わせるにより、実施例6と同様、容易に接合が得られる。この状態で熱処理を行うことにより接合強度が強化される。100℃から900℃の温度で熱処理を行うと、その接合は更に強化される。熱処理の効果は実施例6とほぼ同様であり、200℃

で、1時間程度保持するだけでも接合強度は数倍に上がり、数10Kg/平方cmの強度が得られる。

【0077】また熱処理温度は、保持基板と磷酸ガリウム基板と無機薄膜層が変質する温度以下であることが必要である。

【0078】無機薄膜層については、磷酸ガリウム基板側に付けた例について説明したが、保持基板側につけても同様にして直接接合できる。また両基板の表面に無機絶縁層を形成してもやはり同様にして直接接合できる。

得られた複合圧電基板の機能、性能としては、いずれの場合もほぼ同様のものが得られる。

【0079】また直接接合は、高温の熱処理では、共有結合が支配的となるため、無機絶縁層に珪素を含むものが、共有結合を形成しやすく、接合強度の高いものを得易い。

【0080】このような方法で、無機薄膜層を介して、磷酸ガリウムと直接接合可能なものは、実施例6と同様、半導体としては、Si、GaAs、InP、圧電体としては、磷酸ガリウム、水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウム、ジルコンチタン酸鉛を主成分とする圧電体、絶縁体としては、ほう珪酸ガラスや石英ガラスなどのガラス、サファイアなどである。

【0081】磷酸ガリウム基板と保持基板に同一材料もしくはほぼ同じ熱膨張率を有する基板同士を用いた場合は、より高温での熱処理が可能であり、接合強度のより強固なものが得られる。保持基板にガラスを用いた場合、熱膨張率を広い範囲に変えることが可能なため、用いる磷酸ガリウム基板に合わせた熱膨張率のガラスを保持基板として用いることが可能である。

【0082】また実施例6の製造方法に比べて、無機薄膜層が直接接合時のバッファの役目を果たすため、磷酸ガリウム基板と保持基板の熱膨張率の差が少し緩和される効果がある。そのため接合熱処理をより高温で行うことができ、接合強度の高いものが得られる。また接合界面に多少のゴミがあっても、熱処理により直接接合が強化される過程で、無機薄膜層に取り込まれるため、製造上歩留まりが上がるという効果がある。

【0083】本製造方法で得られた接合界面は、実施例6と同様、接着剤を用いずに原子オーダーの接合が得ら

れるため、熱的变化や機械的振動に対して安定な複合圧電基板が得られる。

【0084】本実施例では、親水化の一例を示したが、この方法に限定されるものではない。

【0085】

【発明の効果】本発明では、有機物などの接着剤を用いずに、20nm以下の接合部の厚みで、複合圧電基板を形成することができることから、基板上下の平行度が良く、基板表面の高精度微細加工が可能であり、具体的には、3μm+20nmで膜厚を制御することができる。

【0086】また熱的、機械的に安定であり、具体的には300℃以上の熱処理が容易なので、300℃以下の温度に対して、極めて安定な圧電デバイスが容易に得られる。

【0087】また保持基板と磷酸ガリウム基板の組合せの自由度が大きいことから、得られる複合圧電基板の圧電特性の選択の自由度が大幅に増すものである。例えば水晶複合化した場合、0温度係数の圧電特性が得られる。ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウムと組み合わせれば、電気機械結合係数が磷酸ガリウム自身の電気機械結合係数よりも大きいものが得られる。またガラス基板を用いた場合、音速の選択の自由度が増すとともに、保持部の形状加工が容易となる。また半導体基板と複合化した場合、半導体基板に各種電子素子、電子回路を形成することにより、圧電デバイスと半導体デバイスを集積化したデバイスが得られる。

【0088】また水晶、ニオブ酸リチウム、タンタル酸リチウム、ほう酸リチウムなどの圧電基板を用いた場合の直接接合に比べて、より高温で熱処理可能であり、またより厚い基板での直接接合が可能である。さらに具体的には、50μm以上の基板厚みで、300℃以上での直接接合時の熱処理温度が可能となる。これにより直接接合部の接合強度が強化され、より熱的、機械的に安定なものが得られる。また50μm以上の基板厚みで直接接合可能であることから、2-3インチでのウェーハ処理が可能となり、量産に適している。また直接接合歩留まりが大幅に向上する。具体的には、圧電基板の厚みが50μm、熱処理温度280℃の場合、水晶-Si直接接合では、歩留まり10%程度であるのに対して、磷酸ガリウム-Siの場合は、90%以上である。

【0089】これにより、表面弾性波デバイス、バルク波デバイス、圧電-半導体集積化デバイスなどの各種応用デバイスの設計自由度が大幅に増すなどの効果が得られるものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例の構造図

【図2】本発明の原理の説明図

【図3】本発明の実施例における圧電基板を(a)Si基板へ、(b)ガラス基板へ直接接合できる圧電基板の



厚みと熱処理温度の関係を示す図

【図4】本発明の他の実施例における圧電基板を（a）Si基板へ、（b）ガラス基板へ直接接合できる圧電基板の厚みと熱処理温度の関係を示す図

【図5】本発明の第2の実施例の構造図

【図6】本発明の第3の実施例の構造図

【図7】本発明の第4の実施例の構造図

【図8】本発明の第5の実施例の構造図

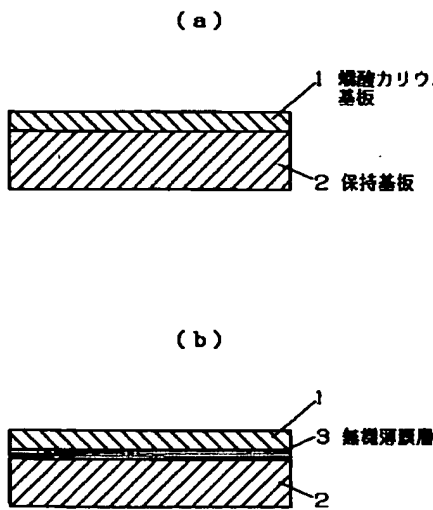
【図9】同実施例に無機薄膜層を介在させた場合の構造図

【符号の説明】

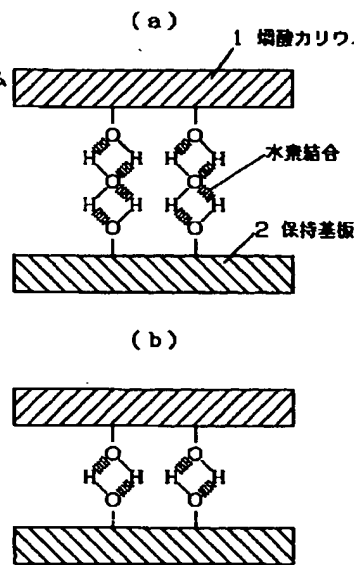
- 1 燐酸ガリウム基板
- 2 保持基板
- 3 無機薄膜層
- 4 櫛形電極
- 5 空洞部
- 6 電極
- 7 電子素子または電子回路部
- 8 配線

10

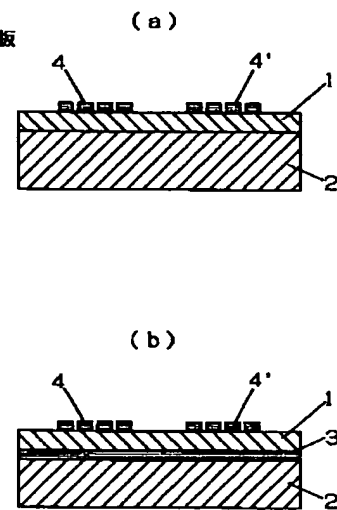
【図1】



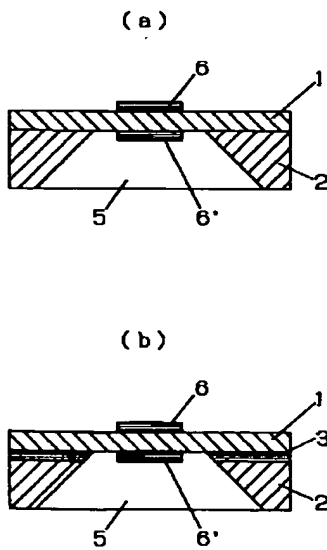
【図2】



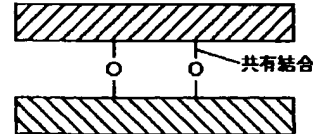
【図5】



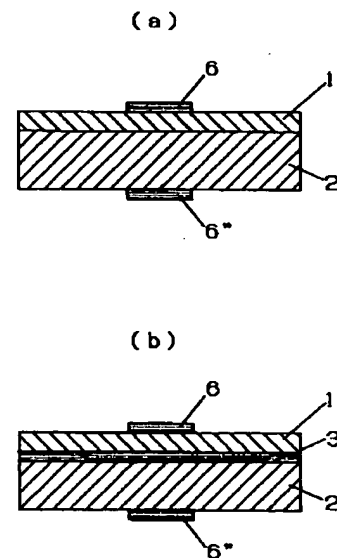
【図6】



【図7】

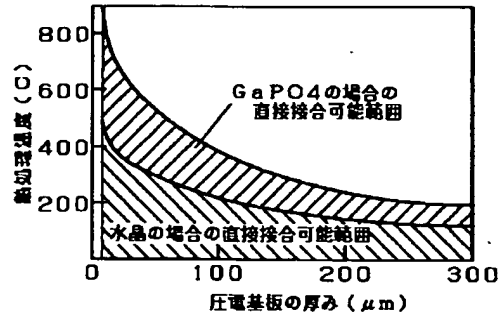


【図8】

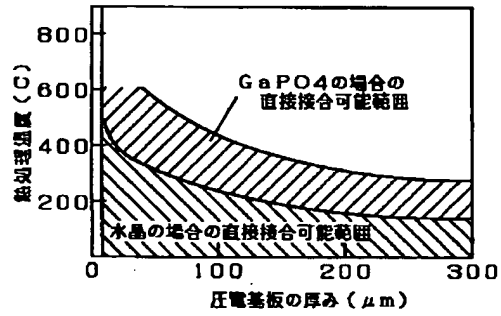


【図3】

(a)

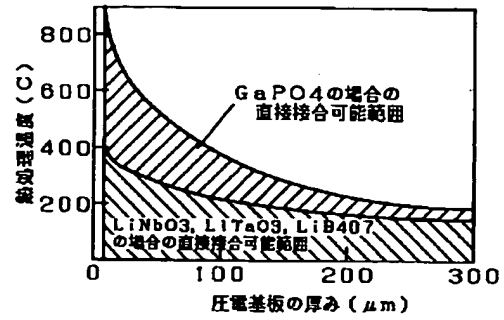


(b)

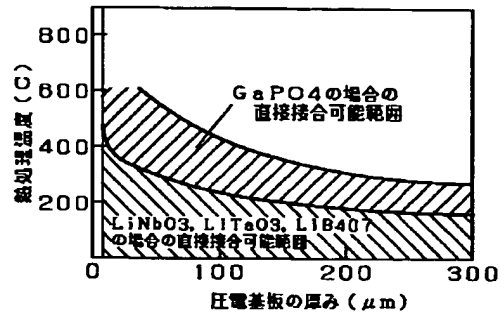


【図4】

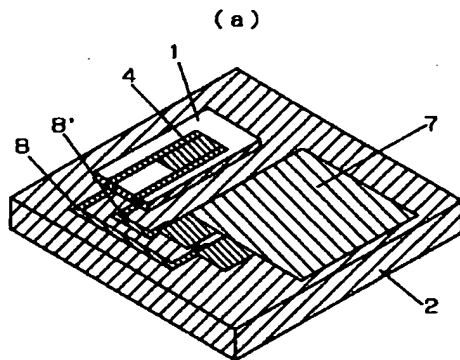
(a)



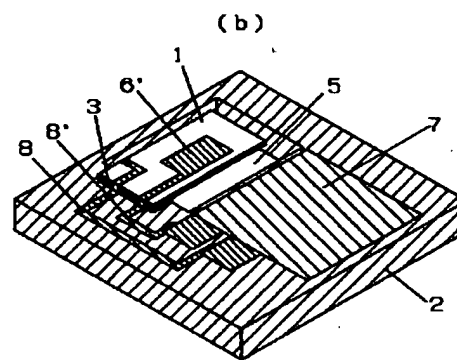
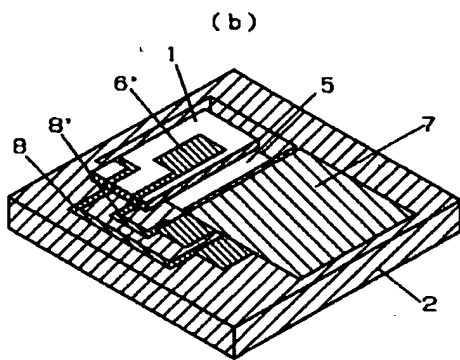
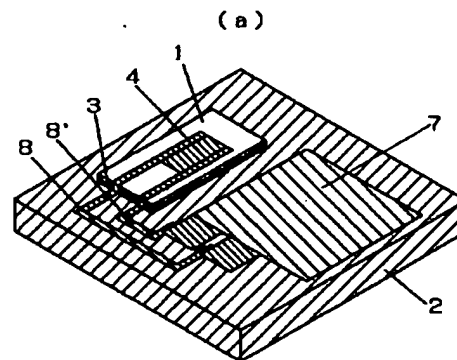
(b)



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(51)Int. Cl.<sup>6</sup>  
H03H 9/25

識別記号 片内整理番号  
C 7259-5J

F I

技術表示箇所

(72)発明者 田口 豊  
大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内